

特開平9-266326

(43) 公開日 平成9年(1997)10月7日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-99096

(22) 出願日 平成8年(1996)3月27日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地

(72) 発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 小池 正好

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

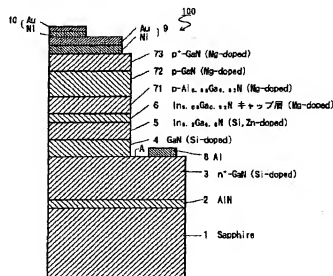
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3族窒化物化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 青色発光素子の発光強度の増加及び素子寿命の長期化

【解決手段】 p伝導型のクラッド層71とn層4との間に発光層5が形成されている。発光層5とクラッド層71の間にそれらの成長温度の中間の温度で成長させる組成比のキャップ層6が形成されている。このキャップ層6はクラッド層71の高温成長時における発光層5の結晶性の劣化を防止する。窒素の抜けやインジウムの拡散が防止できる。よって、発光効率と素子寿命が改善される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】3族窒化物半導体から成る発光層と発光層の上に形成されるクラッド層とを有する発光素子において、前記発光層と前記クラッド層との間に、前記発光層の成長温度と前記クラッド層の成長温度との間の成長温度で成長が可能で、前記発光層のバンドギャップと前記クラッド層のバンドギャップとの間のバンドギャップを有する組成比を有する3族窒化物半導体から成るキャップ層を設けたことを特徴とする3族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項2】前記キャップ層は、前記発光層から前記クラッド層にかけて、組成比が連続的又は段階的に変化する層であることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項3】前記発光層と前記クラッド層と前記キャップ層は4元素の $Al_xGa_{1-x}In_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ )であり、前記キャップ層の組成比は前記発光層の組成比と前記クラッド層の組成比との間の組成比に選択されていることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項4】前記発光層は3元素の $In_{x1}Ga_{1-x1}N$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ )であり、前記クラッド層は3元素の $Al_{y1}Ga_{1-y1}N$  ( $0 \leq y1 \leq 1$ )であり、前記キャップ層は前記発光層の組成比と前記クラッド層の組成比との間の組成比に選択された $Al_{x2}Ga_{y2}In_{1-x2-y2}N$  ( $0 \leq x2 \leq 1$ ,  $0 \leq y2 \leq 1$ ,  $0 \leq x2+y2 \leq 1$ )であることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項5】前記キャップ層のインジウム(In)の組成比が前記発光層から前記クラッド層に近づくに連れて減少し、前記キャップ層のアルミニウム(Al)の組成比が前記発光層から前記クラッド層に近づくに連れて増加するように段階的又は連続的に変化したことを特徴とする請求項4に記載の3族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項6】前記発光層は3元素の $In_{x1}Ga_{1-x1}N$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ )であり、前記クラッド層は3元素の $Al_{y1}Ga_{1-y1}N$  ( $0 \leq y1 \leq 1$ )であり、前記キャップ層は3元素の $In_{x2}Ga_{1-x2}N$  ( $0 \leq x2 \leq 1$ )であることを特徴とする請求項1に記載の3族窒化物化合物半導体発光素子。

【請求項7】前記キャップ層のインジウム(In)の組成比が前記発光層から前記クラッド層に近づくに連れて段階的又は連続的に減少させたことを特徴とする請求項6に記載の3族窒化物化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は3族窒化物半導体を用いた半導体素子に関する。特に、素子特性や信頼性に優れた半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、青色や短波長領域の発光素子の材

料としてAlGaInN系の化合物半導体を用いたものが知られている。その化合物半導体は直接遷移型であることから発光効率が高いこと、光の3原色の1つである青色及び緑色を発光色とすること等から注目されている。

【0003】AlGaInN系半導体においても、Mgをドーピングして電子線を照射したり、熱処理によりp型化できる。この結果、AlGaInNのp伝導型のクラッド層と、ZnとSiドーピングのInGaInNの発光層と、GaInNのn層とを用いたダブルヘテロ構造を有する発光ダイオード(LED)が提案されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記のようなInGaInNの発光層の上に直接、AlGaInNのクラッド層が積層されている構造では、AlGaInNのクラッド層の成長温度が先に形成されたInGaInNの発光層の成長温度よりも高いため、クラッド層の形成工程において、発光層がInGaInNの成長温度よりも高い温度にさらされ、発光層が熱的に劣化する。更に、この高温でのクラッド層の形成工程において、クラッド層に添加されたマグネシウム(Mg)が発光層へと拡散したり、発光層の窒素(N)が蒸発する。その結果、発光層の結晶性が悪化し発光効率が低下する。更に、素子の劣化により、素子の寿命は短くなり、信頼性に欠ける。

【0005】そこで本発明の目的は、発光層の結晶性を向上させることで、発光効率を向上させ、素子寿命の長期化と信頼性の向上を図ることである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、発光層とクラッド層との間に、発光層の成長温度とクラッド層の成長温度との間の成長温度で成長が可能で、発光層のバンドギャップとクラッド層のバンドギャップとの間のバンドギャップを有する組成比を有する3族窒化物半導体から成るキャップ層を設けたことを特徴とする。

【0007】請求項2の発明は、そのキャップ層は、発光層からクラッド層にかけて、組成比が連続的又は段階的に変化する層としたことである。請求項3の発明は、発光層とクラッド層とキャップ層を4元素の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ )とし、キャップ層の組成比を発光層の組成比とクラッド層の組成比との間の組成比に選択したことである。請求項4の発明は、発光層は3元素の $In_{x1}Ga_{1-x1}N$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ )であり、クラッド層は3元素の $Al_{y1}Ga_{1-y1}N$  ( $0 \leq y1 \leq 1$ )であり、キャップ層は発光層の組成比とクラッド層の組成比との間の組成比に選択された $Al_{x2}Ga_{y2}In_{1-x2-y2}N$  ( $0 \leq x2 \leq 1$ ,  $0 \leq y2 \leq 1$ ,  $0 \leq x2+y2 \leq 1$ )であることを特徴とする。請求項5の発明は、キャップ層のインジウム(In)の組成比が発光層からクラッド層に近づくに連れて減少し、キャップ層のアルミニウム(Al)の組成比が発光層からクラッド層に近づくに連れて増加するように段階的又は連続的に変化したことを特徴とする。請求項6の発明は、

発光層は3元素の $\text{In}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$  ( $0 \leq x1 \leq 1$ )であり、クラッド層は3元素の $\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-y1}\text{N}$  ( $0 \leq y1 \leq 1$ )であり、キャップ層は3元素の $\text{In}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$  ( $0 \leq x2 \leq x1 \leq 1$ )であることを特徴とする。請求項7の発明は、請求項6において、キャップ層のインジウム(In)の組成比が発光層からクラッド層に近づくに連れて段階的又は連続的に減少させたことを特徴とする。

#### 【0008】

【発明の作用及び効果】上記の構成のキャップ層を発光層とクラッド層との間に、それらの成長温度間の温度で形成したので、発光層を形成した後に、より高温でクラッド層が形成される時に、発光層の結晶性への悪影響を防止できる。具体的には、発光層の窒素の抜けやインジウムの発光層からの拡散、マグネシウムウの発光層への拡散が、このキャップ層で阻止される。又、キャップ層の形成は、クラッド層よりも低温で形成されるために、キャップ層形成時における発光層の結晶性への悪影響はキャップ層を直接形成する場合に比べて低減される。この結果、発光効率が向上し、阻止寿命が長期化した。

【0009】ヘテロ接合により発光層でキャリア閉じ込め効果を生じさせるためには、発光層のバンドギャップよりもキャップ層、クラッド層のバンドギャップの方を大きく必要がある。4元素の $\text{AlGaInN}$ 半導体の場合には、Alが多い程バンドギャップは広くなり成長温度が高くなり、Inが多い程バンドギャップは小さくなり成長温度は低くなる。よって、キャップ層の各元素の組成比を発光層とキャップ層の各元素の組成比の間の組成比とすることで、キャップ層のバンドギャップと成長温度を発光層とクラッド層のバンドギャップと成長温度の間とすることができる。このような組成比は連続的な変化させても、段階的に変化させても良い。特に、発光層が $\text{InGaIn}$ 、クラッド層が $\text{AlGaIn}$ の3元素で構成されている場合には、キャップ層に、発光層よりもインジウム組成比が小さいか、クラッド層よりもアルミニウム組成比が小さい3元素の $\text{InGaIn}$ 又は $\text{AlGaIn}$ 又は4元素の $\text{AlGaInN}$ を用いることで、バンドギャップと成長温度の条件を満たすことができる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定されるものではない。

#### 第1実施例

図1は本願実施例の発光素子100全体図を示す。発光素子100は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1上に $0.05 \mu\text{m}$ の $\text{AlN}$ バッファ層2が形成されている。

【0011】そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $4.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープGaNから成る高キャリア濃度 $n^+$ 層3、膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ の電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープのGaNから

る成る $n$ 層4、膜厚約 $100 \text{ nm}$ 、亜鉛(Zn)とシリコン(Si)ドープがそれぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ にドープされた $\text{In}_{0.20}\text{Ga}_{0.80}\text{N}$ から成る発光層5、膜厚約 $10 \text{ nm}$ 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープの $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る $p$ 伝導型のキャップ層6、膜厚約 $100 \text{ nm}$ 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープの $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る $p$ 伝導型のクラッド層7 1、膜厚約 $200 \text{ nm}$ 、ホール濃度 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープの $\text{Al}_{0.09}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ から成る第1コンタクト層7 2、膜厚約 $50 \text{ nm}$ 、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のマグネシウム(Mg)濃度 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープのGaNから成る $p^+$ の第2コンタクト層7 3が形成されている。そして、第2コンタクト層7 3の上面全体にNi/Auの2重層からなる透明電極9が形成されるその透明電極9の隣の部分にNi/Auの2重層からなるボンディングのためのパッド10が形成されている。又、 $n^+$ 層3上にはAlから成る電極8が形成されている。

【0012】次に、この構造の半導体素子の製造方法について説明する。上記発光素子100は、有機金属気相成長法(以下MOVPE)による気相成長により製造された。用いられるガスは、アンモニア( $\text{NH}_3$ )、キャリアガス( $\text{H}_2$ )、トリメチルガリウム( $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ )以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム( $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ )以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム( $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ )以下「TMI」と記す)、シラン( $\text{SiH}_4$ )とシクロペンタジエニルマグネシウム( $\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ )以下「 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ 」と記す)である。

【0013】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とし、単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に設置されたサベータに装着する。次に、常圧で $\text{H}_2$ を流速2 liter/分で約30分間反応室に流しながら温度 $1100^\circ\text{C}$ でサファイア基板1をベークングした。

【0014】次に、温度を $400^\circ\text{C}$ まで低下させて、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NiH}_3$ を10 liter/分、TMAを $1.8 \times 10^{-5}$ モル/分で約90秒間供給して $\text{AlN}$ のバッファ層2を約 $0.05 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。次に、サファイア基板1の温度を $1150^\circ\text{C}$ に保持し、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NiH}_3$ を10 liter/分、TMGを $1.7 \times 10^{-4}$ モル/分、 $\text{H}_2$ ガスにより $0.86 \text{ ppm}$ に希釈されたシランを $20 \times 10^{-8}$ モル/分で40分導入し、膜厚約 $4.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープGaNから成る高キャリア濃度 $n^+$ 層3を形成した。

【0015】上記の高キャリア濃度 $n^+$ 層3を形成した後、続いて温度を $1100^\circ\text{C}$ に保持し、 $\text{H}_2$ を20 liter/分、 $\text{NiH}_3$ を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、 $\text{H}_2$ ガスにより $0.86 \text{ ppm}$ に希釈されたシランを $10 \times 10^{-9}$ モル/分で30分導入し、膜厚約 $5.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープGaNから成る $n$ 層4を形成した。

【0016】続いて、温度を800℃に保持し、 $N_2$ 又は $H_2$ を20 liter/分、 $NH_3$ を10 liter/分、TMGを $0.2 \times 10^{-4}$ モル/分、TMIを $1.6 \times 10^{-4}$ モル/分、 $H_2$ ガスにより0.88ppmに希釈されたシリンを $10 \times 10^{-6}$ mol/分、DEZを $2 \times 10^{-4}$ モル/分で、30分間供給して厚さ100nmのシリコンと亜鉛が、それぞれ、 $5 \times 10^{19}/cm^3$ にドーパされた $In_{0.20}Ga_{0.80}N$ から成る発光層5を形成した。

【0017】続いて、温度を900℃に保持し、 $N_2$ 又は $H_2$ を20 liter/分、 $NH_3$ を10 liter/分、TMGを $0.2 \times 10^{-4}$ モル/分、TMIを $1.2 \times 10^{-4}$ モル/分、 $CP_2Mg$ を $2 \times 10^{-5}$ モル/分で、3分間供給して厚さ10nmの濃度 $5 \times 10^{19}/cm^3$ にマグネシウムのドーパされたキャップ層6を形成した。この状態で、キャップ層6は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0018】続いて、温度を1100℃に保持し、 $N_2$ 又は $H_2$ を20 liter/分、 $NH_3$ を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、TMAを $0.47 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、 $CP_2Mg$ を $2 \times 10^{-5}$ モル/分で6分間導入し、膜厚約100 nmのマグネシウム(Mg)ドーパの $Al_{0.08}Ga_{0.92}N$ から成るクラッド層71を形成した。クラッド層71のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/cm^3$ である。この状態では、クラッド層71は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0019】次に、温度を1100℃に保持し、 $N_2$ 又は $H_2$ を20 liter/分、 $NH_3$ を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、 $CP_2Mg$ を $2 \times 10^{-5}$ モル/分で1分間導入し、膜厚約200 nmのマグネシウム(Mg)ドーパの $GaN$ から成る第1コンタクト層72を形成した。第1コンタクト層72のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/cm^3$ である。この状態では、第1コンタクト層72は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0020】次に、温度を1100℃に保持し、 $N_2$ 又は $H_2$ を20 liter/分、 $NH_3$ を10 liter/分、TMGを $1.12 \times 10^{-4}$ モル/分、及び、 $CP_2Mg$ を $4 \times 10^{-5}$ モル/分で3分間導入し、膜厚約50 nmのマグネシウム(Mg)ドーパの $GaN$ から成る $p^+$ の第2コンタクト層73を形成した。第2コンタクト層73のマグネシウム濃度は $1 \times 10^{20}/cm^3$ である。この状態では、第2コンタクト層73は、まだ、抵抗率 $10^8 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0021】次に、反射電子線回折装置を用いて、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、及びキャップ層6に一樣に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10KV、資料電流1  $\mu A$ 、ビームの移動速度0.2mm/sec、ビーム径60  $\mu m$   $\phi$ 、真空度 $5.0 \times 10^{-5}$ Torrである。この電子線の照射により、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、及びキャップ層6は、それぞれ、ホール濃度 $8 \times 10^{17}/cm^3$ 、 $3 \times 10^{17}/cm^3$ 、 $2 \times 10^{17}/cm^3$ 、 $2 \times 10^{17}/cm^3$ 、抵抗率2  $\Omega cm$ 、1  $\Omega cm$ 、0.7  $\Omega cm$ 、0.7  $\Omega cm$ の $p$ 伝導型半導体となった。このようにして多層構造のウエハが得られた。

【0022】続いて、図2～図4に示すように、 $n^+$ 層3の電極8を形成するために、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、キャップ層6、発光層5、 $n$ 層4の一部を、エッチングにより除去した。次に、一樣に $Ni/Au$ の2層を蒸着し、フォトリソの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第2コンタクト層73の上に透明電極9を形成した。そして、その透明電極9の一部に $Ni/Au$ の2層を蒸着してパッド10を形成した。一方、 $n^+$ 層3に対しては、アルミニウムを蒸着して電極8を形成した。その後、上記のごとく処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す構造の発光ダイオードを得た。この発光素子は駆動電流20mAで発光ピーク波長430 nm、発光強度200mcdであった。従来構造のLEDに比べて発光強度は2倍になった。

【0023】上記実施例ではキャップ層6のインジウム(In)の組成比を0.08としたが、発光層5からクラッド層71に近づくにつれて、キャップ層6のインジウム(In)の組成比を0.2から0へ順次、減少させても良い。さらに、アルミニウム(Al)の組成比を0から0.08へ順次、増加させても良い。さらに、4元素の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )化合物半導体を用いて、発光層5からクラッド層71にかけて、インジウム(In)の組成比を減少させると共にアルミニウム(Al)の組成比を増加させても良い。これらのキャップ層6の組成比を変化させる時、2段以上で段階的に変化させても、連続的に組成比を変化させても良い。

【0024】又、発光層5とキャップ層71に、4元素の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )半導体を用いた場合も、キャップ層に4元素の半導体を用いて、In、Al、Gaの組成比が発光層5とクラッド層71の間の値となるように、発光層5からクラッド層71にかけて、連続的に又は段階的に変化するようにしても良い。又、上記実施例では発光層5に単一層を用いたが、単一量子井戸構造(QW)や多重量子井戸構造(MQW)を用いても良い。

#### 【0025】第2実施例

次に、第2実施例の発光素子200について説明する。図5において、 $n$ 層4を高キャリア濃度 $n^+$ 層3と発光層5との間の格子定数の変化を緩和する組成比の $n$ 伝導型の中間層41、42を設けた。これにより、発光5の結晶性を向上させることができる。

【0026】図5において、 $n^+$ 層3の上に、膜厚約10 nm、電子濃度 $5 \times 10^{17}/cm^3$ のシリコン(Si)ドーパの $In_{0.08}Ga_{0.92}N$ から成る第1中間層41、膜厚約10 nm、電子濃度 $5 \times 10^{17}/cm^3$ のシリコン(Si)ドーパの $In_{0.85}Ga_{0.85}N$ から成る第2中間層42を形成した。他の層については、第1実施例と全く同様である。

【0027】第2実施例では第1中間層41のインジウム(In)の組成比を0.08とし、第2中間層42のインジウ

ム(In)の組成比を0.15としたが、 $n^+$ 層3から発光層5に近づくにつれて、発光層5のインジウム(In)の組成比を0から0.20に順次、増加させても良い。この時、2段以上の複層でも、連続的に組成比を変化させても良い。さらに、4元素の化合物半導体を用いると、バンドギャップと格子定数とをそれぞれ独立に変化させることができる。よって、InGaInの発光層5に対して、InGaInよりもバンドギャップが広く、格子定数を発光層5の格子定数にほぼ一致させた組成比の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )を中間層4として用いても良い。又、この中間層4を、 $n^+$ 層3の格子定数に等しい格子定数とする組成比の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )から成る第1中間層と、発光層5の格子定数に等しい格子定数とする組成比の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )から成る第2中間層との2層構造としても良い。さらに、第1中間層から第2中間層の間に、格子定数を第2中間層に順次接近させる1層以上の層を介在させても良い。又、 $n^+$ 層3から発光層5に向けて、格子定数が連続的に変化するよう1層以上の層の組成比を連続的に変化させても良い。発光層5はInGaIn、 $n^+$ 層3はGaInとしたが、これらの層も、4元素の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )とし、それらの層の間に上述した構成の4元素の $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ )から成る中間層を設けても良い。

【0028】このように中間層4を形成することで、発光層5の結晶性が改善され、その結果、発光効率が向上した。さらに、発光層5は中間層4とキャップ層6で挟まれているので、結晶成長時における発光層5の熱的劣化が防止され、この第2実施例の構造にすることで、より発光効率と素子寿命を改善することができた。

【0029】又、中間層4、 $n^+$ 層3のシリコン濃度は、 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ が望ましい。  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下であると高抵抗となり、 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上であると結晶性が低下し望ましくない。中間層4の厚さは0.5nm～50nmが望ましい。0.5nm以下であると層を均一に

形成できなくなり、50nm以上であると発光効率が低下し望ましくない。又、 $n^+$ 層3の厚さは、0.5  $\mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ が望ましい。0.5  $\mu\text{m}$ 以下であると、エッチングして $n^+$ 層3を露出させて、 $n^+$ 層3に対する電極の形成が困難となり、10  $\mu\text{m}$ 以上であるとクラックが入り望ましくない。又、発光層5のシリコン濃度及び亜鉛濃度は、それぞれ、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ が望ましい。濃度が  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ より低下すると発光強度が低下し、濃度が  $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上となると結晶性が低下するために望ましくない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な第1実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

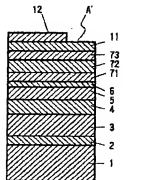
【図4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図5】本発明の具体的な第2実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

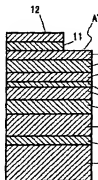
【符号の説明】

- 100…半導体素子
- 1…サファイア基板
- 2…バッファ層
- 3…高キャリア濃度 $n^+$ 層
- 4… $n$ 層
- 5…発光層
- 6…キャップ層
- 7 1…クラッド層
- 7 2…第1コンタクト層
- 7 3…第2コンタクト層
- 8…電極
- 9…透明電極
- 1 0…パッド

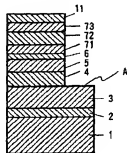
【図2】



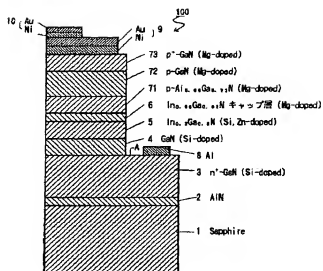
【図3】



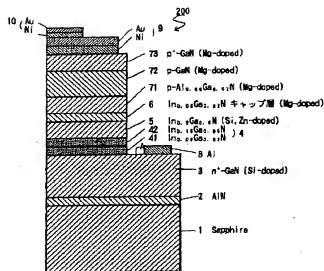
【図4】



〔図1〕



〔図5〕



フロントページの続き

(72) 発明者 山崎 史郎  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 永井 誠二  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1  
番地 豊田合成株式会社内